



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 40 18 360.2-24  
22 Anmeldetag: 8. 6. 90  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 29. 5. 91

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

74 Vertreter:

Tegel-Küppers, L., Dipl.-Ing.Dr.-Ing., Pat.-Anw., 8024  
Taufkirchen

72 Erfinder:

Baumeister, Joachim, Dipl.-Phys., 2820 Bremen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

US 30 87 807 C1

54 Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper

Es wird ein Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper beschrieben, welches folgende Verfahrensschritte beinhaltet:

1. Herstellen einer Mischung aus mindestens einem Metallpulver und mindestens einem gasabspaltenden Treibmittelpulver.

2. Heißkompaktieren dieser Mischung zu einem Halbzeug bei einer Temperatur, bei der die Verbindung der Metallpulverteilchen überwiegend durch Diffusion erfolgt und bei einem Druck, der hoch genug ist, um die Zersetzung des Treibmittels zu verhindern, derart, daß die Metallteilchen sich in einer festen Verbindung untereinander befinden und einen gasdichten Abschluß für die Gasteilchen des Treibmittels darstellen.

3. Aufheizen des derart hergestellten Halbzeuges auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels, vorzugsweise im Temperaturbereich des Schmelzpunktes des verwendeten Metalls.

4. Anschließendes Abkühlen des so aufgeschäumten Körpers.

*7. Bsp. 24.10.90, Erfind. = Feeder,  
kein Einspruch*

DE 40 18 360 C 1

DE 40 18 360 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper.

Es sind mehrere Verfahren bekannt, nach denen poröse Metallwerkstoffe hergestellt werden können. Eine einfache Methode zur Herstellung dieser Werkstoffe ist die Einmischung von gasabsplattendenden Stoffen in Metallschmelzen. Durch die Temperatureinwirkung zersetzt sich das Treibmittel unter Freisetzung von Gas. Dieser Vorgang führt zur Aufschäumung der Metallschmelze. Nach Abschluß des Vorganges liegt ein aufgeschäumter Metallwerkstoff vor, welcher eine unregelmäßige, zufällige Form aufweist. Dieser Werkstoff kann durch entsprechende Verfahren zu Körpern gewünschter Form weiterverarbeitet werden. Es muß dabei jedoch beachtet werden, daß als Verfahren zur Weiterverarbeitung nur Trennverfahren in Frage kommen, und demnach nicht jeder beliebige Metallkörper aus einem solchen Metallwerkstoff geformt werden kann. Dies ist nachteilig. Mit ähnlichen Nachteilen sind auch weitere Verfahren zur Herstellung von porösen Metallwerkstoffen behaftet, wie z. B. Tränkung eines vorhandenen Kunststoffschäumstoffes mit einem Schlicker aus Metallpulver und einem Trägermedium und ein anschließendes Ausbrennen oder Verdampfen des Kunststoffschäumstoffes nach erfolgter Trocknung. Diese Methode ist über die vorerwähnten Nachteile hinaus sehr aufwendig.

Aus der US-PS 30 87 807 ist ein Verfahren bekannt, nach dem die Herstellung eines porösen Metallkörpers beliebiger Form möglich ist. Danach wird eine Mischung aus einem Metallpulver und einem Treibmittel mit einem Preßdruck von mindestens 80 MPa im ersten Schritt kalt kompaktiert. Durch anschließendes Strangpressen wird sie um mindestens 87,5% umgeformt. Dieser hohe Umformgrad ist notwendig, damit durch die Reibung der Teilchen aneinander während des Umformprozesses die Oxydhäute zerstört und die Metallteilchen miteinander verbunden werden. Der so hergestellte extrudierte Stab kann durch Erwärmung auf mindestens die Schmelztemperatur des Metalles zu einem porösen Metallkörper aufgeschäumt werden. Die Aufschäumung kann in verschiedenen Formen erfolgen, so daß der fertige poröse Metallkörper die gewünschte Form aufweist. Nachteilig ist, daß dieses Verfahren aufgrund seines zweistufigen Kompaktierungsvorganges sowie des erforderlichen, sehr hohen Umformgrades aufwendig und auf durch Strangpressen herstellbare Halbzeuge beschränkt ist. Bei dem in dieser US-PS offenbarten Verfahren sind nur Treibmittel verwendbar, deren Zersetzungstemperatur oberhalb der Kompaktierungstemperatur liegt, da sonst das Gas während des Extrusionsvorganges entweichen würde. Gerade aber sind Treibmittel, deren Zersetzungstemperatur unterhalb der Kompaktierungstemperatur liegt, für viele Metallarten geeignet und preisgünstig. Während des auf den Kompaktierungsvorgang folgenden Vorgang des Aufschäumens entsteht ein poröser Metallkörper mit offener Porosität, wobei die Poren offen oder miteinander verbunden sind. Der Extrusionsvorgang nach dem in der US-PS beschriebenen Verfahren ist notwendig, da die Verbindung der Metallteilchen durch die bei den Extrusionsvorgang auftretenden hohen Temperaturen und die Reibung der Teilchen aneinander, d. h. durch Verschweißung der Teilchen miteinander entsteht. Da aus obengenannten Gründen die für die Verbindung der Teilchen notwendige Temperatur nicht beliebig hoch angesetzt werden kann, muß mit sehr hohen Umform-

graden gearbeitet werden, damit eine möglichst gute und gasdichte Verbindung der Metallteilchen untereinander entsteht.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper anzugeben, welches preisgünstig, einfach in der Anwendung, ohne hohen umformtechnischen Aufwand durchführbar und gleichzeitig für Treibmittel mit niedriger Zersetzungstemperatur anwendbar ist.

Diese Aufgabe ist durch die im Hauptanspruch angegebene Erfindung gelöst. Die Unteransprüche stellen vorteilhafte Weiterbildung dar.

Danach wird zunächst eine Mischung aus einem oder mehreren Metallpulvern und einem oder mehreren gasabsplattendenden Treibmittelpulvern hergestellt. Als Treibmittel können Metallhydride, Karbonate, Hydrate oder leicht verdampfende Stoffe eingesetzt werden. Diese, intensiv durchmischte, Pulvermischung wird durch Heißpressen oder heißisostatisches Pressen zu einem kompakten, gasdichten Halbzeug verdichtet. Bei dem Kompaktierungsvorgang ist erfindungsgemäß von ausschlaggebender Bedeutung, daß die Temperatur so hoch gewählt wird, daß die Verbindung zwischen den einzelnen Metallpulverteilen überwiegend durch Diffusion erfolgt. Weiterhin ist es wesentlich, daß der Druck so hoch gewählt wird, daß die Zersetzung des Treibmittels verhindert wird und ein kompaktierter Körper entsteht, bei dem die Metallteilchen sich in einer festen Verbindung untereinander befinden und einen gasdichten Abschluß für die Gasteilchen des Treibmittels bilden. Die Treibmittelteile werden also zwischen den miteinander verbundenen Metallteilchen "eingeschlossen", so daß sie erst bei einem späteren Schritt des Aufschäumens Gas freisetzen. Somit können auch Treibmittel eingesetzt werden, deren Zersetzungstemperatur unterhalb der Kompaktierungstemperatur liegt. Durch die Anwendung des hohen Druckes zersetzen sich diese Treibmittel nicht. Diese erfindungsgemäße Maßnahme erlaubt den Einsatz von Treibmittel, deren Auswahl nur nach den Gesichtspunkten der Verträglichkeit mit dem gewählten Metallpulver bzw. nach den Gesichtspunkten der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gewählt werden können. Durch die geeignete Wahl des Verfahrens-Parameters Temperatur und Druck wird erreicht, daß ein Halbzeug entsteht, welches eine gasdichte Struktur aufweist. Weiterhin wird dadurch, daß das Treibgas zwischen den Metallteilchen "eingeschlossen" bleibt, verhindert, daß es vorzeitig aus dem kompaktierten Halbzeug entweicht. Als Ergebnis des Kompaktierungsvorganges liegt ein Metallkörper vor, welcher durch Erwärmung vorzugsweise auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels, zu einem hochporösen, metallischen Körper aufgeschäumt werden kann. Die Treibmittelmengen, die zur Herstellung der porösen Metallkörper nach dem erfindungsgemäßen Verfahren notwendig sind, sind gering. So reichen Treibmittelanteile von etwa 0,1% Gewichts-Prozent aus, weil das kompaktierte Halbzeug vollständig verdichtet ist und das Treibgas vor dem Aufschäumen nicht entweichen kann. Somit muß nur die Menge Treibmittel zugegeben werden, die zur Herstellung der Schaumstruktur notwendig ist. Das führt zur Kostenersparnis. Weiterhin ist es vorteilhaft, daß aufgrund der gewählten hohen Temperatur und der Anwendung des hohen Druckes der Kompaktierungsvorgang in kurzer Zeit erfolgen kann. Der nächste Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist das Aufschäumen des hergestellten Halbzeuges. Das Aufschäumen

erfolgt durch das Erwärmen des Halbzeuges auf eine Temperatur, die oberhalb der Zersetzungstemperatur des verwendeten Treibmittels liegt, damit das Treibmittel Gas freisetzt. Vorzugsweise wird die Temperatur des Schmelzpunktes des verwendeten Metalles gewählt.

Für den Kompaktierungsvorgang ist wesentlich, daß die Kompaktierungstemperatur so hoch liegt, daß die Verbindung der Metallteilchen untereinander überwiegend durch Diffusion erfolgt. Hierbei bestehen keine Grenzen hinsichtlich der Zersetzungstemperatur des Treibmittels, d. h. die Kompaktierungstemperatur kann auch oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels liegen, da die Zersetzung derselben durch die Wahl eines entsprechend hohen Druckes unterdrückt wird.

Die Aufheizraten des Halbzeuges beim Aufschäumvorgang liegen in üblichen Grenzen, d. h. sie betragen etwa 1—5°C pro sec. Hohe Aufheizgeschwindigkeiten sind nicht notwendig, da das Gas ohnehin nicht entweichen kann. Diese üblichen Aufheizgeschwindigkeiten sind ein weiteres, zur Kostensenkung führendes Merkmal der Erfindung. Selbstverständlich ist, daß in Einzelfällen, z. B. zur Erzielung kleiner Porengröße, eine hohe Aufheizgeschwindigkeit vorteilhaft ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht weiterhin vor, daß nach dem Aufschäumen die Abkühlgeschwindigkeit so gewählt werden muß, daß kein weiterer Aufschäumvorgang vom Inneren des Körpers aus stattfindet. Bei größeren Teilen muß also die Abkühlgeschwindigkeit höher gewählt werden, als bei kleineren, sie muß dem Probenvolumen angepaßt sein.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß durch die geeignete Wahl der Aufschäumparameter Zeit und Temperatur die Dichte des porösen Metallkörpers variiert werden kann. Wird der Aufschäumvorgang nach einer bestimmten Zeit bei konstanter Temperatur unterbrochen, so ergibt sich eine bestimmte Dichte. Wird der Aufschäumvorgang länger fortgesetzt, so führt dies zu anderen Dichtewerten. Wichtig ist, daß bestimmte Grenzwerte beachtet werden: Eine maximal zulässige Aufschäumzeit, nach deren Überschreitung das bereits aufgeschäumte Material kollabiert, soll beachtet werden.

Das Aufschäumen des Halbzeuges erfolgt frei, wenn keine Endform vorgegeben ist. Das Aufschäumen kann auch in einer Form erfolgen. In diesem Fall nimmt der fertige poröse Metallkörper die vorgegebene Gestalt an. Es ist also nach dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, auch Formteile aus porösem metallischem Werkstoff herzustellen.

Das in dem Verfahrensschritt des Kompaktierens hergestellte Halbzeug ist so beschaffen, daß sich seine Metallteilchen in einer festen Verbindung miteinander befinden und einen gasdichten Abschluß für die Gasteilchen des Treibmittels darstellen. Der durch das Aufschäumen des so beschaffenen Halbzeuges hergestellte Metallkörper weist eine überwiegend geschlossene Porosität auf; die Metallkörper schwimmen im Wasser. Die dabei entstehenden Poren sind gleichmäßig im gesamten Metallkörper verteilt, sie weisen auch eine annähernd einheitliche Größe auf. Die Porengröße kann während des Aufschäumvorganges durch die Zeit, in welcher der Metallschaum expandieren kann, eingestellt werden. Die Dichte des porösen Metallkörpers kann den Erfordernissen entsprechend angepaßt werden. Dies kann nicht nur, wie bereits beschrieben, durch die geeignete Wahl der Aufschäumparameter erfolgen,

sondern auch durch eine geeignete Zugabe des Treibmittels. Durch die Wahl der Parameter-Temperatur und Zeit, bei welchen das Aufschäumen erfolgt, kann die Festigkeit und die Duktilität des porösen Metallkörpers variiert werden. Die Beeinflussung der beiden genannten Eigenschaften geschieht ohnehin durch die Einstellung der erwünschten Porengröße. Selbstverständlich ist, daß die Eigenschaften des fertigen metallischen Körpers, vor allem von der Wahl der Ausgangsmaterialien abhängig sind.

Das Verformungsvermögen des kompaktierten Halbzeuges ist mit dem des massiven Ausgangsmetallies vergleichbar. Auch in seinem äußeren Aussehen unterscheidet sich das Halbzeug nicht von dem des Ausgangsmetalls. Das Halbzeug kann demnach durch bekannte Umformverfahren zu Halbzeugen beliebiger Geometrien verarbeitet werden. Es kann zu Blechen, Profilen etc. umgeformt werden. Es ist nahezu jedem Verformungsverfahren zugänglich, das unter Beachtung der Zersetzungstemperatur stattfindet. Erst beim Umformvorgang stattfindenden Erwärmen des Halbzeuges auf Temperaturen oberhalb der Zersetzungstemperatur des verwendeten Treibmittels erfolgt das Aufschäumen.

In den nachfolgenden Beispielen wird der Verlauf des Verfahrens dargestellt.

#### Beispiel 1

Ein handelsübliches Reinaluminiumpulver wurde mit 0,1 Gewichtsprozent Titanhydridpulver versetzt und durch mechanisches Rühren intensiv durchmischt. 30 Gramm dieser Pulvermischung wurden in ein zylindrisches Gesenk gefüllt und in einer Heißeßvorrichtung unter einem Druck von etwa 60 MPa auf eine Temperatur von 500° erwärmt und bei dieser Temperatur 30 Minuten gehalten. Nach dem Öffnen der Presse lag das kompaktierte Halbzeug in Form einer runden Scheibe von etwa 35 mm Durchmesser und 11,5 mm Dicke vor. Diese Scheibe wurde in einem Metallrohr von 35 mm Innendurchmesser und etwa 40 mm Länge auf eine Temperatur von 800°C erwärmt. Ab etwa 500°C zeigten sich an der Oberfläche kleine Bläschen. Das Halbzeug expandierte bereits in der festen Phase, besonders stark jedoch nach dem Aufschmelzen des Aluminiums. Nachdem der Metallschaum den gewünschten Expansionsgrad erreicht hatte, d. h. nachdem die gewünschte Dichte vorlag und das gesamte 40 mm lange Stahlrohrstück ausgefüllt war, wurde das Rohrstück samt dem Schaummetall abgekühlt. Nach dem Ausbau des Metallkörpers aus dem Rohr lag ein poröser Metallkörper mit einer Dichte von etwa 0,78 g/cm<sup>3</sup> vor. Die typische Porengröße lag um 1 mm Durchmesser. In einer Abwandlung des Verfahrens wurde nach dem Kompaktierungsvorgang das hergestellte Halbzeug, die Scheibe von 35 mm Durchmesser und 11,5 mm Dicke durch Kaltwalzen zu einem Blech von 0,5 mm Dicke umgeformt. Das Formänderungsvermögen des Materials war auch nach diesem Umformvorgang noch nicht erschöpft.

#### Beispiel 2

Das Gemisch aus Reinaluminiumpulver und Titanhydrid wurde in eine Heißeßvorrichtung gefüllt und unter einen Druck von 60 MPa gesetzt. Das Material wurde unter Beibehaltung dieses Drucks auf eine Temperatur von 600°C erwärmt und 10 Minuten bei dieser Temperatur gehalten. Der so erhaltene Preßling wies nach dem Ausbau aus der Vorrichtung das gleiche Verfahren

hinsichtlich seiner Umformbarkeit und seiner Aufschäumbarkeit auf, wie das im Beispiel 1 beschriebene Material.

### Beispiel 3

Ein fertiglegiertes Pulver aus einer Aluminiumlegierung mit einem Legierungsanteil von 4 Gew.-% Magnesium wurde mit 0,4 Gew.-% Titanhydridpulver vermischt und in der Heiprevorrichtung unter einem Druck von 60 MPa auf eine Temperatur von 500°C erwärmt und bei dieser Temperatur ca. 30 Minuten lang gehalten. Nach dem Ausbau wurde das kompaktierte Halbzeug in einem auf 800°C vorgeheizten Ofen erwärmt. Nachdem die Schmelztemperatur der Legierung erreicht war, erfolgte das gewünschte starke Aufschäumen des Materials. Nachdem der gewünschte Expansionsgrad erreicht war, wurde der Metallschaum aus dem Ofen entnommen und an ruhender Luft abgekühlt. Der Schaum wies eine Dichte von ca. 0,62 g/cm<sup>3</sup> auf bei einer typischen Porengröße von ca. 2–3 mm.

### Beispiel 4

Ein handelsübliches Reinaluminiumpulver wurde mit 4 Gew.-% Kupferpulver und 0,4 Gew.-% Titanhydridpulver vermischt und unter einem Druck von 80 MPa auf eine Temperatur von 500°C erwärmt und bei dieser Temperatur ca. 25 Minuten gehalten. Nach dem Ausbau wurde die kompaktierte Probe in einem auf 800°C vorgeheizten Ofen aufgeschäumt. Aufgrund der Legierungsbildung (Mischkristallbildung) wies der Metallschaum eine gegenüber einem vergleichbaren Reinaluminiumschaum deutlich erhöhte Festigkeit auf.

Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten porösen Metallkörper haben die Fähigkeit, Stoßenergie zu absorbieren. Somit ist eine Verwendung des Materials in Crashzonen und Seitenteilen von Fahrzeugen vorteilhaft. Weiterhin können viele Teile, welche bisher aus Kunststoffen oder ähnlichen Materialien gefertigt wurden, vorteilhaft durch die leicht recycelbaren porösen Metallkörper ersetzt werden. Ebenso sind Verwendungen des Materials unter extremen Einsatzbedingungen hinsichtlich Druck, Temperatur und aggressiven Medien denkbar. Weitere Verwendungen ergeben sich aus dem Vorteil des geringen spezifischen Gewichts und der Nichtbrennbarkeit unter anderem in der Luft- und Raumfahrt, im Straßen- und Schienenfahrzeugbau und als Auftriebskörper.

Eine mögliche Verwendung der nach den erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Halbzeuge besteht darin, Hohlräume durch Ausschäumen zu füllen. Weiterhin können die Halbzeuge im Brandschutz eingesetzt werden, wobei das Material unter Hitzeeinwirkung aufschäumt und dadurch z. B. Öffnungen selbsttätig verschließt oder abdichtet.

In bestimmten Anwendungsfällen, z. B. im Brandschutz, kann es erwünscht sein, daß der Metallschaum stufenweise expandiert. Dies läßt sich erreichen, indem zwei oder mehrere Treibmittel mit unterschiedlichen Zersetzungstemperaturen dem Metallpulver zugemischt werden. Wenn das anschließend kompaktierte Halbzeug nun erhitzt wird, zersetzt sich zunächst das Treibmittel mit der niedrigsten Zersetzungstemperatur und bewirkt ein weiteres Aufschäumen. Somit erfolgt das Aufschäumen in zwei oder mehreren Stufen.

In Fig. 1 ist eine schematische Darstellung des Verfahrens wiedergegeben: Ein Metallpulver 1 wird mit

einem Treibmittelpulver 2 intensiv vermischt. Die so erhaltene Mischung 3 wird in einer Presse 4 unter Druck und Temperatureinfluß kompaktiert. Nach dem Kompaktieren entsteht ein Halbzeug 5. Das Halbzeug 5 kann beispielsweise zu einem Blech 6 umgeformt werden. Anschließend kann das Blech 6 durch Temperatureinwirkung zu einem fertigen porösen Metallkörper 7 aufgeschäumt werden.

### Patentansprüche

#### 1. Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

a) Herstellen einer Mischung aus mindestens einem Metallpulver und mindestens einem gasabspaltenden Treibmittelpulver.

b) Heikompaktieren dieser Mischung zu einem Halbzeug bei einer Temperatur, bei der die Verbindung der Metallpulverteilchen überwiegend durch Diffusion erfolgt und bei einem Druck, der hoch genug ist, um die Zersetzung des Treibmittels zu verhindern, derart, daß die Metallteilchen sich in einer festen Verbindung untereinander befinden und einen gasdichten Abschluß für die Gasteilchen des Treibmittels darstellen.

c) Aufheizen des derart hergestellten Halbzeuges auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels, vorzugsweise im Temperaturbereich des Schmelzpunktes des verwendeten Metalles.

d) Anschließendes Abkühlen des so aufgeschäumten Körpers.

2. Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Heikompaktierungstemperatur im Schritt b) oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels liegt.

3. Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufheizgeschwindigkeit im Schritt c) zwischen 1 und 5°C/sec. beträgt.

4. Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Abkühlen des aufgeschäumten Metallkörpers mit einer im Verhältnis zum Volumen des aufgeschäumten Körpers derart hohen Geschwindigkeit erfolgt, daß weiteres Aufschäumen abgebrochen wird.

5. Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Aufschäumen des Halbzeuges unterschiedliche Temperatur- und Zeitwerte in Abhängigkeit von der zu erreichenden Dichte des herzustellenden Metallkörpers eingestellt werden.

6. Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufschäumen des Halbzeuges frei erfolgt.

7. Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufschäumen des Halbzeuges in einer Form erfolgt.

8. Verwendung eines im Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 hergestellten Metallkörpers als Bauteil, das insbesondere erhöhtem Druck und/oder erhöhter Temperatur und/oder Korrosionswirkung ausgesetzt ist.

9. Verwendung des im Verfahren nach Anspruch 1  
oder 2 hergestellten Halbzeuges zum Ausschäu-  
men von Hohlräumen.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

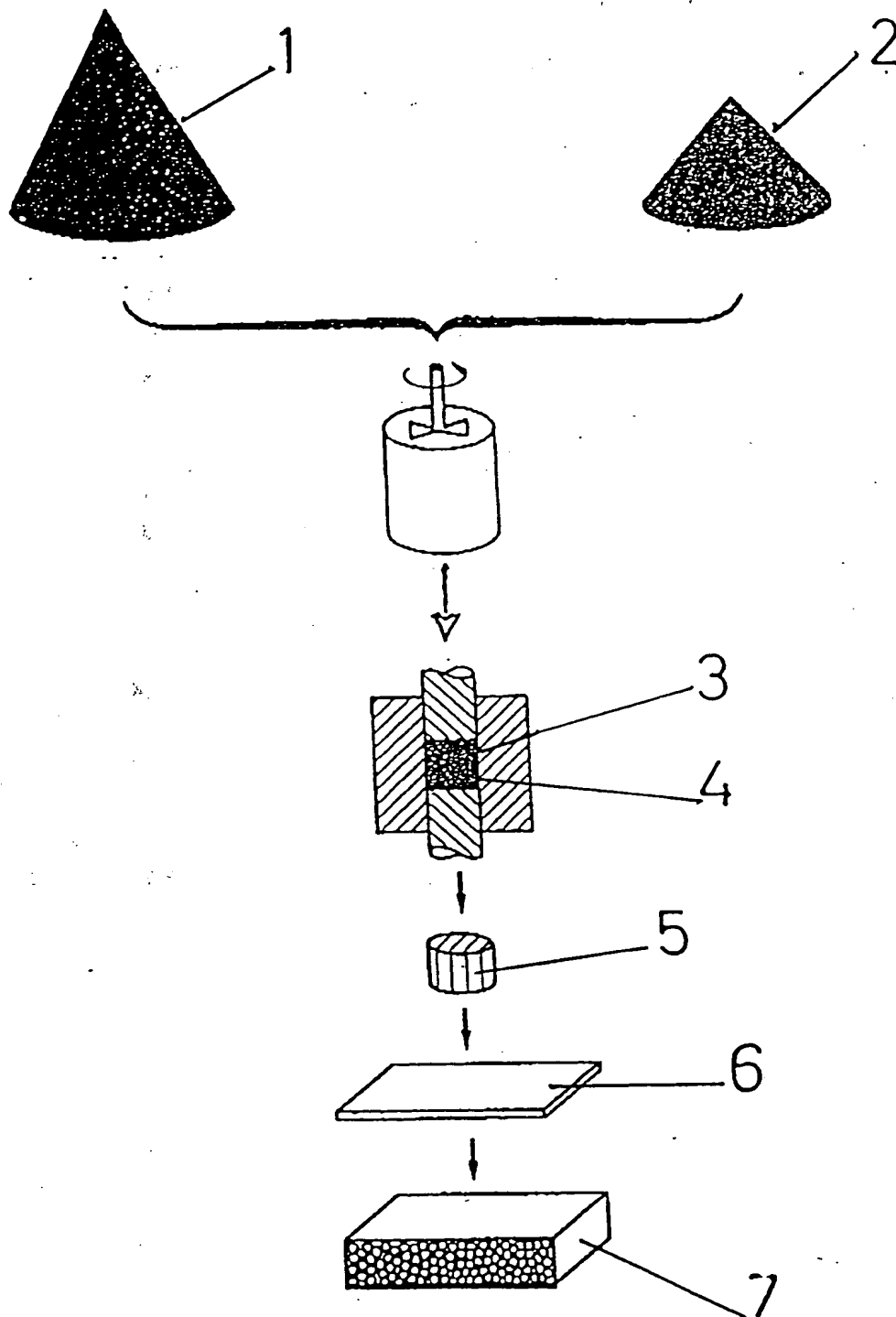
45

50

55

60

65



Inne

(73)

(6)

Fig.1